UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE FRAGE

OB DAS LICHT ZU DEN UNMITTELBAREN LEBENSBEDINGUNGEN DER PFLANZEN ODER EINZELNER PFLANZENORGANE GEHÖRT.

INAUGURAL-DISSERTATION

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

KÖNIGLICHEN FRIEDRICH-ALEXANDERS-UNIVERSITÄT

ZU ERLANGEN

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

VORGELEGT

VON

HEINRICH BUSCH

AUS BREMEN.

MIT EINER TAFEL IN FARBENDRUCK.

LEIPZIG

DRUCK VON F. A. BROCKHAUS

1889.

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE FRAGE

OB DAS LICHT ZU DEN UNMITTELBAREN LEBENSBEDINGUNGEN DER PFLANZEN ODER EINZELNER PFLANZENORGANE GEHÖRT.

INAUGURAL-DISSERTATION

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

KÖNIGLICHEN FRIEDRICH-ALEXANDERS-UNIVERSITÄT

ZU ERLANGEN

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

VORGELEGT

VON

HEINRICH BUSCH

AUS BREMEN.

MIT EINER TAFEL IN FARBENDRUCK.

LEIPZIG

DRUCK VON F. A. BROCKHAUS

1889.

SEINER LIEBEN MUTTER

IN

VEREHRUNG UND DANKBARKEIT

GEWIDMET

VOM VERFASSER.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546420_0016

EINLEITUNG.

Dass das Licht für viele Pflanzenteile nicht zu den unmittelbaren Lebensbedingungen gehört, unterliegt keinem Zweifel. Wir wissen es von allen Pilzen, von den Wurzeln und andern unterirdischen Organen der höheren Pflanzen, welche in voller und konstanter Dunkelheit sich normal entwickeln. Zweifelhaft konnte es sein für die grünen Blätter, da die Beobachtung lehrt, dass sie, ins Dunkle gebracht, bald zu Grunde gehen. Doch hat man diese Erscheinung mit der Annahme in Zusammenhang gebracht, dass durch die Dunkelheit nur die Chlorophyllkörner zerstört und erst infolge dessen das Blatt getötet werde. Wusste man ja doch, dass dasselbe Pflanzenblatt im Dunkeln etiolirt entwickelt, lange Zeit zu leben vermag und also als solches des Lichtes nicht notwendig bedarf. Das Absterben im Lichte erwachsener grüner Blätter infolge Verdunkelung wird dann auch von Sachs[1]), welcher darüber die meisten Versuche angestellt hat, in dem Abschnitte über „Erhaltung der Chlorophyllkörner durch Licht“ behandelt und zwar in folgender Weise:

„Werden vegetierende Pflanzen mit grünen Blättern oder abgeschnittene grüne Blätter in einen finsteren Raum gebracht, oder wird ein Blatt einer am Lichte stehenden

---

[1]) Sachs, Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen.

Pflanze allein mit einer undurchsichtigen Umhüllung versehen oder auch nur ein Teil eines Blattes so behandelt, so tritt bei sehr vielen Pflanzen eine radikale Zerstörung der Chlorophyllkörner ein. Die verdunkelten Stellen werden erst fahlgrün, gelbfleckig, endlich ganz gelb. Bei manchen Pflanzen *(Tropocolum majus, Phaseolus)* geschieht dies selbst dann, wenn sie, am Fenster erwachsen, dem diffusen Licht ausgesetzt werden. Die mikroskopische Beobachtung zeigt, dass diese Entfärbung nicht bloss von einer Zerstörung der grünen Farbe, sondern von einer Auflösung und endlichem Verschwinden der Chlorophyllkörner selbst herrührt; sie verlieren zunächst ihre Amyluminschlüsse, verändern ihre Form, und während der Farbstoff fahl und endlich gelb wird, verschwindet auch die protoplasmatische Grundmasse der Chlorophyllkörner aus den betreffenden Zellen, endlich bleiben in diesem nur noch sehr kleine fettglänzende, gelbe Körnchen übrig, die keineswegs den etiolierten Chlorophyllkörnern zu vergleichen sind, welche bei der Neubildung im Finstern auftreten.“

Die allgemeine Entbehrlichkeit des Lichtes für den Lebensprozess als solchen musste durch die weiteren Beobachtungen von Sachs noch an Wahrscheinlichkeit gewinnen, wonach auch Blüten und Früchte im Dunkeln leben und sich entwickeln können. Seine Untersuchungen führten zu dem Ergebniss, dass in allen beobachteten Fällen das Auftreten der bunten Blütenfarbstoffe von der lokalen Einwirkung des Lichtes ganz unabhängig ist. Für die Entstehung der verschiedenen Farbstoffe der Blumenblätter ist es ganz gleichgültig, ob sie vom Lichte getroffen werden oder nicht, die Färbung derselben erfolgt in tiefer Finsterniss mit derselben Pracht wie am vollen Tageslicht, sobald nur die Formbildung der Blüten im Finstern stattfindet. Die Blütenteile wie auch die Farbstoffe bilden sich aus den assimilirten Stoffen, welche die grünen

Blätter am Licht erzeugt haben oder erzeugen, wenn die grünen Blätter derselben Pflanze vom Lichte getroffen werden. Man darf daher annehmen, dass in den Laubblättern unter dem Einflusse des Lichtes organische Verbindungen erzeugt werden, welche, in die Blütenknospen übergehend, deren Ausbildung und Färbung bewirken, ganz ohne Rücksicht darauf, ob die Blütenknospen selbst vom Lichte getroffen werden oder nicht. Ebenso ist es nach Sachs' Untersuchungen bei den Früchten. Auch diese sind nicht direkt, sondern durch die grünen Blätter vom Licht abhängig, insofern sie nur bei hinreichender Beleuchtung im Stande sind, aus hochoxydirten Nährstoffen verbrennliche, organische Substanz zu erzeugen, welche in den Früchten dann die weiteren Veränderungen erfährt und zu deren Wachstum verwendet wird.

Meine Aufgabe war, durch Ausdehnung der Untersuchungen auf eine weitere Anzahl von Pflanzen und Pflanzenteile neue Belege für das Zutreffende der im Vorstehenden angedeuteten Anschauungen zu sammeln, eventuell die Einschränkungen oder Modificirungen, die dieselben etwa erfahren müssten, kennen zu lernen.

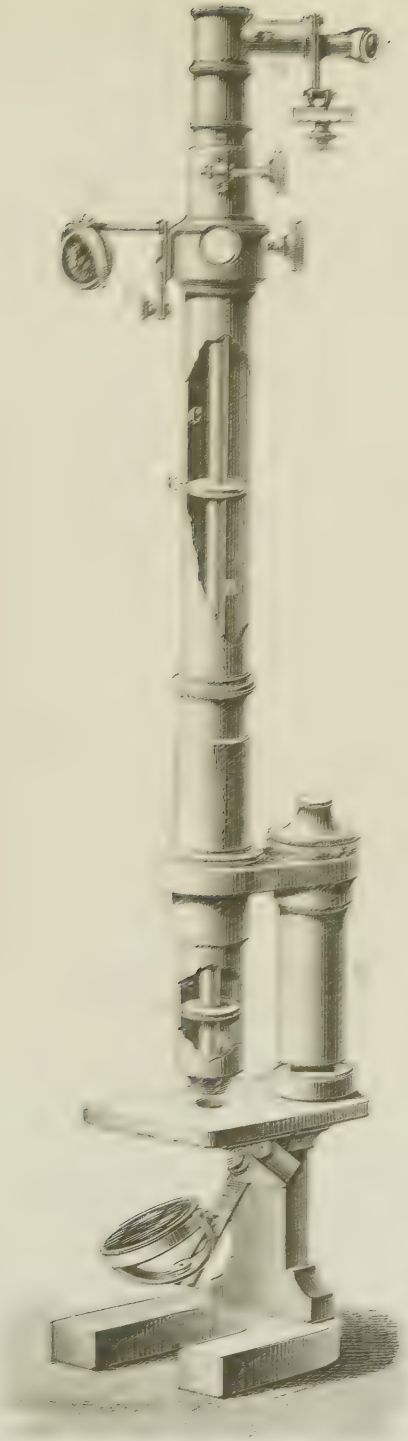
Methodisches.

Die bei der Verdunkelung befolgte Methode bestand in einer Umhüllung der betreffenden Blätter, Blattstiele, Internodien und Früchte von schwarzem, völlig undurchsichtigem Papier, so, dass keine Lichtstrahlen in den auf diese Weise abgeschlossenen Raum eindringen konnten. Es war dabei auf eine möglichst gleichmässige Temperatur zu achten, denn die Einwirkung der direkten Sonnenstrahlen auf die schwarze Umhüllung konnte sehr leicht ein vorzeitiges Verdürren hervorrufen.

Bei den Chlorophylluntersuchungen wurde der, durch die nebenstehende Figur veranschaulichte Apparat von A. Tschirch[1]) verwendet.

Derselbe besteht aus dem kleinen Spektralokular, welches auf die verlängerte Tubusröhre (*C*) eines gewöhnlichen Mikroskopes (*h*) aufgesetzt wird. In die Tubusröhre sind mehrere durchbohrte Korke (*K*) eingefügt. Auf diese Weise ist eine Vorrichtung geschaffen, die nach Abschrauben der Objektive bequem gestattet, lange Analysirröhren (*R*) mit beliebig hohen Flüssigkeitsschichten einzuführen und unter Anwendung von Gaslicht zu untersuchen. Es ist dies um so leichter möglich, da der unter dem Objekttisch angebrachte Spiegel das Licht von jeder beliebigen Stelle her in die Tubusröhre werfen kann. Als Analysir-

[1]) A. Tschirchs Festschrift aus dem Jahre 1884.



röhren verwendet man am besten solche von weissem Glas, die unten — ohne einen Nabel — zugeschmolzen sind (*R*). Die Vorteile dieser Anordnung sind einmal die bequeme Handhabung des ganzen Apparates, ferner die Möglichkeit leichter Reinigung der Analysirröhren. Der Hauptvorteil ist jedoch der, dass man die Schichtendicke ausserordentlich rasch und um sehr kleine Werte ändern kann. Gesetzt, man wolle die Dicke der durchstrahlten Schicht um ein Minimum reduciren, so genügt es, dass man die Analysirröhre herausnimmt und durch gelindes Neigen einen oder mehrere Tropfen herausfliessen lässt.

Die zu den Untersuchungen nötige Chlorophylllösung erhält man durch mehrfachen Auszug der Blätter mit Alkohol. Diese Auszüge werden auf 1000 Kubikcentimeter oder Bruchteile derselben verdünnt, nachdem das Chlorophyll durch vorherigen Zusatz einiger Tropfen Chlorwasserstoffsäure in Chlorophyllan übergeführt worden ist. Mit einer genau bestimmten Chlorophyllanlösung werden nun die fraglichen Blattauszüge mit dieser in Vergleich gebracht und hiernach auf einen Quadratmeter Blattfläche berechnet.

Noch eines zweiten Apparates, der bei der Durchleuchtung der Pflanzenteile Verwendung findet, muss gedacht werden; es ist dieses das kleine Diaphanoskop.[1]) Man benutzt es zur Bestimmung der Tiefe, bis zu welcher Licht von einer dem Auge noch wahrnehmbaren Intensität in Gewebeschichten eindringt.

Das von mir benutzte Diaphanoskop besteht aus einem cylindrischen Messingrohr, das unten offen ist und so zugeschnitten, dass der Rand sich dicht an die Umgebung des Auges andrücken lässt; über den geschlossenen oberen Teil lässt sich ein oben ebenfalls geschlossenes kürzeres

[1]) Über die Durchleuchtung der Pflanzenteile von J. Sachs der K. K. Akad. der Wissensch. Wien 1860. XLIII.

Rohr von derselben Art stülpen; die beiden Deckstücke sind in der Mitte mit je einem Loch von circa 1 mm Durchmesser versehen. Der zu prüfende Pflanzenteil, in meiner Arbeit die Blattstiele und Internodien, wird zwischen beide Rohre eingeschaltet, so, dass er das obere und untere Loch in der Mitte hat. Darauf wird das Rohr mit dem unteren Rande dicht vor das Auge gehalten, um seitwärts kein Licht eindringen zu lassen, während man das obere Deckstück gegen die Sonne selbst, eine weisse Wolke oder den blauen Himmel richtet. Zuweilen bedarf es längerer Zeit, bevor der anfangs unsichtbare Lichtschein am Loch des oberen Deckstückes sichtbar wird. Die Tiefe, bis zu welcher Lichtstrahlen in das Innere der Pflanzengewebe eindringen, hängt ab von ihrer Brechbarkeit und Intensität, dann aber auch von dem anatomischen Bau und der chemischen Natur der Inhaltsstoffe der Zellen.

Das Verhalten und die Veränderungen der chlorophyllhaltigen vegetativen Organe bei konstanter Verdunkelung.

Meine vielen Versuche, verschiedene grüne vegetative Pflanzenteile bei konstanter Verdunkelung zu beobachten, führten sehr bald zu der Überzeugung, dass die Zerstörung des Chlorophylls keine primäre Dunkelheitswirkung ist, sondern dass das Chlorophyll als solches auch im Dunkeln beliebig lange unverändert persistiren kann, vorausgesetzt, dass dabei die Zelle selbst am Leben bleibt, dass dagegen, wenn das Chlorophyll im Dunkeln zerstört wird, dies nur eine sekundäre Erscheinung ist, die in Begleitung des durch den Lichtmangel bedingten Absterbens der Zellen eintritt, als Symptom der Entleerung, die hier dem Tode vorangeht, analog wie die Zerstörung des Chlorophylls bei der herbstlichen Entleerung der Blätter.

Die Entleerungs- und Todeserscheinungen der specifischen Assimilationsgewebe bei Dunkelheit.

Veränderung ganz im Dunkeln gehaltener Organe.

Versuche mit Phaseolus multiflorus.

Am 22. Mai wurden die sehr gut entwickelten Primordialblätter dieser Pflanze verdunkelt und am 28. Mai ein Blatt zur Beobachtung abgeschnitten. Im nicht verdunkelten Blatt hatten die Chlorophyllkörner eine Grösse von 6,5 bis 7 Tausendstel Mikromillimeter, der Zellkern eine solche von 5,5 Tausendstel Mikromillimeter. Das verdunkelte Blatt zeigte ausser einer etwas helleren Farbe keine wesentliche Veränderung. Die Chlorophyllkörner, in der Grösse von 5,5 bis 6,5 Tausendstel Mikromillimeter, lagen an den Aussenwänden der Zellen. Der Zellkern, welcher oftmals von dem Chlorophyll verdeckt war, hatte eine Grösse von ungefähr 5,8 Tausendstel Mikromillimeter. Das Protoplasma war reichlich vorhanden und von weicher teigig-körniger Beschaffenheit.

Nach neuntägiger Verdunkelung, also am 31. Mai, zeigte sich bereits ein anderes mikroskopisches Bild. Die Chlorophyllkörner hatten ihre ursprüngliche Stellung verlassen und sich etwas von der Epidermis, wie dies in den Palissadenzellen besonders scharf hervortrat, zurückgezogen. Ihre Grösse hatte etwas abgenommen, während der Zellkern ein wenig grösser, aber nicht so scharf gerändert erschien. Nach zehntägiger Verdunkelung war eine verschiedene Färbung des Blattes deutlich sichtbar. Während nämlich auf der einen Hälfte die Farbe noch stark grün war, trat auf der anderen Seite schon eine gelbe Färbung hervor. Deutlicher trat der Entleerungsprozess am zwölften Tage der Verdunkelung zum Vorschein. In den Palissadenzellen war der Zellinhalt bis über die Hälfte nach dem Grunde der Zellen zurückgezogen. Die Chlorophyll-

körner hatten ihre grüne Farbe verloren und waren gelb geworden, ihre Grösse war nur noch 2,5 bis 3 Tausendstel Mikromillimeter; die Grösse des Zellkernes 3,5 bis 4,5 Tausendstel Mikromillimeter. Der Stärkegehalt der Zellen hatte im Verlaufe der Verdunkelung eine bedeutende Abnahme erfahren. Denn von den vorher reichlichen Mengen war nur noch ein Weniges geblieben. Auch das Protoplasma war weniger geworden und dabei merklich dünnflüssiger. Die Farbe des Blattes zeigte sich nunmehr intensiv gelb. Am fünfzehnten Tage des Versuches traten im oberen Teile des Blattes gelbbraune, bereits abgestorbene Stücke auf, während im unteren Teile sich das Übergangsstadium zeigte. Die Chlorophyllkörner waren nicht mehr differenzirt, sondern lagen in zwei, drei, auch vier Klumpen teils am Grunde der Zellen, teils wohl auch etwas höher. Der Zellkern hatte sich nach seiner Auflösung wieder mit dem Protoplasma vermischt und auch dieses war fast verschwunden. Der innere Raum der Zelle war von einer klaren Flüssigkeit erfüllt. Die Chlorophyllkörner der Schliesszellen hatten ebenfalls eine Umlagerung erfahren, dieselbe zeigte sich jedoch nicht so prägnant wie in den übrigen Zellen. Scheinbar hatten sie sich mehr der Aussenwand genähert und lagen hier zu einem Kreis gruppirt. In den Schliesszellen waren noch minimale Mengen von Stärke zu finden, die aber erst nach Behandlung der Schnitte mit Alkohol, dann durch Hinzufügen eines Tropfens einer konzentrirten Lösung von Chloralhydrat, welchem hierauf etwas Jodjodkalium zugefügt wurde, sichtbar waren.

Frei von Stärke zeigten sich die Blattnerven, während sich im oberen mit verdunkelten Blattstiel geringe Mengen fanden.

Die dreiteiligen Blätter von *Phaseolus multiflorus* zeigten dieselben Entleerungserscheinungen wie die Primordialblätter, doch waren die letzteren gegen Verdunkelung weit widerstandsfähiger.

Versuche mit Mais.

Die Versuche mit Mais wurden in derselben Weise wie bei *Phaseolus multiflorus* angestellt. Am 18. Juli wurden mehrere recht kräftige Blätter verdunkelt und zeitweise beobachtet. Die Entleerung fand hierbei sehr regelmässig statt. Sie begann an der Spitze und zog sich allmählich bis zur Blattbasis hin. Ein verdunkeltes 60 cm langes Blatt war erst nach 43 Tagen völlig entleert. Das Verschwinden des Zellinhaltes war besonders schön im Palissadengewebe sichtbar. Von Zelle zu Zelle absteigend, löste sich das Chlorophyll, der Zellkern und das Protoplasma auf. Grössere Mengen von Stärke befanden sich in der Nähe der Gefässbündel. Dieselbe verschwand auch mit dem übrigen Zellinhalte ohne eine Spur zurückzulassen.

Versuche mit Drosera rotundifolia.

Die Drosera-Exemplare wurden am 25. Juli im Warmhause verdunkelt. Hier zeigten sich wiederum dieselben Entleerungserscheinungen. Das im normalen Zustande tiefgrüne Blatt begann nach der Verdunkelung heller zu werden. Die Chlorophyllkörner, welche ursprünglich eine Grösse von 3,5 bis 4,5 Tausendstel Mikromillimeter hatten, wurden allmählich kleiner, ebenso der Zellkern mit einer Grösse von 3,5 Tausendstel Mikromillimeter. Das dickflüssige Protoplasma wurde dünner und merklich weniger. Die Entleerung begann an den Rändern und zog sich dann bis zur Mittelrippe weiter. Die reichlichen Mengen Stärke verschwanden auch und nach 30 Tagen waren sämmtliche Blätter braun und entleert. Dieselben hatten sich nach innen aufgerollt, ihre Drüsenhaare waren schlaff und ohne klebrigen Saft.

Während der Verdunkelung wuchsen die Pflanzen weiter. Es bildeten sich bis zu 3 cm lange etiolirt wachsende Sprosse. An einem Exemplar zeigte sich eine

merkwürdige Erscheinung. Ähnlich wie bei recht feucht stehender *Cadamine pratensis* hatte sich aus der Mittelrippe eines Blattes ein Spross gebildet. Derselbe hatte an seiner Spitze eine Knospenanlage und zu beiden Seiten des Stengels spatelförmige Blätter von ziemlicher Länge entwickelt.

Versuche mit Pelargonium.

Fünfzehn normal und kräftig entwickelte, an den Stengeln stehende Pelargoniumblätter wurden am 3. Mai verdunkelt. Das erste Blatt zeigte, nach drei Tagen beobachtet, keine Veränderung, die Farbe und der Zellinhalt waren dieselben geblieben. Nach weiteren drei Tagen konnte man einen helleren Farbenton wahrnehmen. Die Stellung der Chlorophyllkörner war eine etwas andere, da sie sich vom oberen Rande der Palissadenzellen weggezogen hatten. Die Grösse hatte durchschnittlich um 1 Tausendstel Mikromillimeter abgenommen und betrug 4 bis 4,5 Tausendstel Mikromillimeter. Die Stärke, welche hauptsächlich im Schwammparenchym zu beobachten war, begann auszuwandern. Der Zellkern hatte fast noch seine ursprüngliche Grösse, ebenso war das Protoplasma von weicher, körniger Beschaffenheit. Markanter traten die Entleerungserscheinungen am achten Tage der Verdunkelung auf. Die Chlorophyllkörner und der Zellkern zeigten jetzt noch die halbe Grösse und füllten nur noch den unteren Teil der Zellen aus. Die Farbe des Chlorophylls war völlig gelb geworden. Das Blatt, äusserlich betrachtet, zeigte einen gelben Rand, der nach der Mittelrippe hin ins Grüne überging. Am 15. Mai, also nach zwölftägiger Verdunkelung, ist der obere Teil gelbbraun geworden und abgestorben; nach unten, besonders in der Nähe der Blattrippen, konnte man aber noch eine gelbgrüne Farbe beobachten. In den Zellen lagen die Chlorophyllkörner, mehr gelb als grün und kaum noch differenzirt am Grunde. Der Zellkern,

wenn er vorhanden war, lag in der Mitte der gelben Klumpen und hatte ein stark lichtbrechendes Innere. Das Protoplasma zeigte ein völlig wässeriges Aussehen. Von Stärke war keine Spur mehr zu finden. Nur die Schliesszellen zeigten noch minimale Mengen.

Versuch mit Ficus Pearcelli.

Da mir leider keine Pflanzen mit chlorophyllosen Blättern zur Verfügung standen, verdunkelte ich zwei panaschirte Blätter von *Ficus Pearcelli.*

Nach dreizehntägiger Verdunkelung konnte ich bereits eine Verkleinerung der Chlorophyllkörner beobachten. Die Farbe der zuerst grünen Teile war wesentlich heller, die Stellung des Chlorophylls eine veränderte. Nach weiteren sieben Tagen war das Grüne in Gelb übergegangen, während die weissen Teile keine Veränderung zeigten. Am Ende des Monats fielen die Blätter ab. Das Chlorophyll und der übrige Zellinhalt waren völlig verschwunden, die weissgrünen Blätter waren weissbraun geworden.

Versuch mit Helianthus.

Eine sehr schön regelmässige Entleerung zeigte sich bei *Helianthus.* Dieselbe beginnt an den Blatträndern und schreitet dann langsam bis zur Mittelrippe fort. Ist diese dann auch entleert, so stirbt das Blatt ab. Während der Entleerung schrumpfen die Zellen allmählich ein. Ein 3 Quadratcentimeter grosses Stück mass nach einer Verdunkelung von 27 Tagen nur noch 2,7 Quadratcentimeter.

Versuch mit Ceratophyllum.

Wie bei konstanter Verdunkelung eine allmähliche Entleerung der Blätter der Landpflanzen stattfindet, geschieht dieses auch bei den Wasserpflanzen. Sehr schöne Exem-

plare von *Ceratophyllum* wurden in ein Glasgefäss mit Wasser gesetzt und dieses in den Dunkelschrank des Instituts gestellt. Die Temperatur in demselben betrug durchschnittlich 16 Grad.

Von acht zu acht Tagen wurden sie beobachtet. Im ersten Monat konnte ich kaum eine Veränderung wahrnehmen. Die Chlorophyllkörner hatten eine Grösse von 2,5 bis 3,5 Tausendstel Mikromillimeter. Sie lagen an den Zellwänden, füllten die Zellen jedoch nicht vollständig aus. Der Zellkern hatte ungefähr dieselbe Grösse wie das Chlorophyllkorn, das Protoplasma war starr und massig vorhanden. Ebenso hatten sich in den Chlorophyllkörnern bedeutende Stärkeablagerungen gebildet. Im zweiten Drittel des zweiten Monats war dann eine wesentliche Verringerung des Zellinhaltes zu beobachten. Das Chlorophyll ballte sich mehr zu Klumpen zusammen, der Zellkern war etwas kleiner und das Protoplasma dünnflüssiger geworden. Bei einer späteren Besichtigung zeigte sich die Pflanze von viel weicherer Konsistenz, die sonst starren Blätter waren weniger widerstandsfähig. Gegen das Ende des zweiten Monats konnte man nur eine gelbe Farbe beobachten. Die Chlorophyllkörner hatten noch eine Grösse von 1,2 Tausendstel Mikromillimeter. Sie lagen in Klumpen, auch wohl vereinzelt in den Zellen umher. Kurz vor dem Absterben der Pflanzen verschwand fast der ganze Zellinhalt, der Zellkern und das Protoplasma waren kaum noch sichtbar. In den abgestorbenen Zellen blieben vereinzelt weissgelbe, stark lichtbrechende Klümpchen übrig.

Versuche mit Spirogyra.

Zum ersten Versuch wurde hauptsächlich *Spirogyra longata* aus dem hiesigen botanischen Garten genommen. Es waren sehr kräftige Exemplare. Die Bänder hatten durchschnittlich eine Breite von 6 Tausendstel Mikromillimeter. Mächtige Stärkeherde lagen regelmässig in den

Bändern verteilt, oft bis zu einer Grösse von 100 Tausendstel Mikromillimeter. Hierdurch trat das schön grüne Chlorophyll weniger deutlich hervor. Neben der Stärke gab es noch stern- und kreuzförmige Krystalle von Kalkoxalat. Die Zellkerne, obgleich durch den übrigen Zellinhalt etwas verdeckt, dennoch deutlich sichtbar, hingen an starken Protoplasmafäden in der Zelle. Das Protoplasma war von weicher Konsistenz und reichlich vorhanden.

Um die *Spirogyra* besser beobachten zu können, verteilte ich sie in verschiedene Glasschälchen und verdunkelte sie dann. In den ersten drei Tagen war nichts von Bedeutung wahrzunehmen. Am 8. Juli, also am vierten Tage der Verdunkelung, waren die Chlorophyllbänder wesentlich breiter geworden, während die Stärkekörner dem entsprechend abgenommen hatten. Das sonst gleichmässig liegende Chlorophyll lag scharf gerändert und zerklüftet um die Stärke herum, immer aber noch in Bandform. Am folgenden Tage trat diese Erscheinung noch schärfer hervor. Am sechsten Tage ergaben sich nunmehr umgekehrte Grössenverhältnisse. Die Stärkeherde hatten eine Grösse von 5,5 Tausendstel Mikromillimeter, die Bänder dagegen eine solche von 100 bis 110. Stark zerklüftet, manchmal ohne Zusammenhang im Chlorophyll, lagen die Bänder da. Das Chlorophyll war wesentlich heller geworden, während die Krystalle von Kalkoxalat in ihrer ursprünglichen Form und Grösse vorhanden waren, ja auf Zusatz von Essigsäure noch weit deutlicher und in grösserer Menge hervortraten. Jedenfalls waren sie durch die Stärkekörner mehr verdeckt worden. Jetzt trat auch der Zellkern deutlicher hervor, doch waren die mit ihm verbundenen Protoplasmafäden weit dünner geworden. In diesem Stadium trat eine unangenehme Erscheinung auf. Bis dahin noch nicht beobachtete Pilzfäden drangen in die Zellen und zerstörten sie. Dadurch war eine weitere Beobachtung unmöglich geworden.

Ein zweiter Versuch wurde am 14. Juli gemacht und dieses Mal *Spirogyra* einem Grunewaldsee entnommen. Es waren auch schöne kräftige Exemplare, es fehlten jedoch die massigen Stärkeherde und die Kalkoxalatkrystalle. Bevor ich zur Verdunkelung schritt, wurden die *Spirogyra* einige Male gewaschen.

In den ersten Tagen der Verdunkelung zeigte sich genau derselbe Vorgang, wie der im ersten Versuch beschriebene. Nach vierzehn Tagen konnte ich dann ein Weiterwachsen der Zellen beobachten. Die zuerst spiralförmigen Bänder zogen sich durch dieses Wachstum in die Länge und liessen an beiden Enden der Zellen einen bandlosen Raum zurück. Das Chlorophyll hatte in diesem Stadium bereits eine bedeutend hellere, gelbgrüne Farbe angenommen, der Zellkern erschien etwas kleiner an dünneren Protoplasmafäden in der Zelle aufgehängt. Am 6. August waren die einzelnen Zellen im Dunkeln so weit gewachsen, dass ich in einem Falle einen bandlosen Raum von 67,5 Tausendstel Mikromillimeter messen konnte und zwar an dem einen Ende, am andern Ende betrug derselbe Raum 65 Tausendstel Mikromillimeter. Die Bänder lagen langgestreckt in der Mitte der Zellen, das Chlorophyll war aus ihnen fast verschwunden. Die Stärkeherde massen noch durchschnittlich 1,8 Tausendstel Mikromillimeter, enthielten jedoch keine Spur von Stärke. Das Protoplasma zeigte sich völlig wässerig, der Zellkern, in demselben fast aufgelöst, lag ohne Protoplasmafäden an dem einen Ende der Zellen. Am 8. August, also erst nach 25 Tagen, starben die Zellen, ohne einen bemerkenswerten Inhalt zurückzulassen.

Versuche mit Conferva.

Verschiedene Conferva-Arten wurden wie die Spirogyren verdunkelt. Sie waren gleich diesen dem botanischen Garten entnommen.

Die sehr langgestreckten Zellen hatten schön grüne Chlorophyllkörner und bedeutende Stärkeeinschlüsse, die manchmal so mächtig waren, dass sie das Chlorophyll fast verdeckten. Die durchschnittliche Grösse der Körner betrug 3 Tausendstel Mikromillimeter. Der scharf geränderte Zellkern lag fast ausnahmslos in der Mitte der Zellen, das Protoplasma war feinkörnig und dickflüssig. In den ersten zehn Tagen blieben sämtliche Zellen strotzend voll. Dann zeigte sich wieder eine unangenehme Krankheitserscheinung. *Chydridium olla* fiel über die gefüllten Zellen her, durchbohrte deren Wände und setzte sich mittels eines Pflocks auf dieselben fest, diese innerhalb zweier Tage vollständig entleerend. Am Ende blieb dann ein Häufchen stark lichtbrechender Tröpfchen übrig.

Diese unfreiwillige Entleerung wurde in dem zweiten Versuche verhindert. Zu diesem wurden Conferva-Arten aus einem Grunewaldsee entnommen und vor der Verdunkelung mehrere Male gewaschen. Dann wurde das Wasser des Gefässes von zwei zu zwei Tagen erneuert, um so keine fremden Bildungen aufkommen zu lassen. Erst nach einem Monat zeigten sich Entleerungserscheinungen und zwar analog denen von *Spirogyra*. Nach vierzig Tagen waren sämtliche Zellen tot und der Zellinhalt ganz verschwunden.

Versuche mit Plectogyne, Nerium Oleander, Hedera, Helix und Tradescantia.

Pflanzen mit derben Blättern zeigten sich gegen Verdunkelung sehr widerstandsfähig. Trat eine Entleerung ein, so vollzog sie sich immer unter den bekannten Erscheinungen. Die Dauer war dabei doch eine sehr verschiedene.

Ein Plectogyneblatt war nach 40 Tagen völlig gelb und entleert; ein zweites noch nach 70 Tagen hellgrün.

Die verdunkelten Blätter von *Nerium Oleander* hatten sich zwischen 50 bis 70 Tagen entleert.

Widerstandsfähiger war der Epheu. Das erste Blatt hatte sich nach drei Monaten entleert, ein zweites war noch nach sechs Monaten völlig grün.

Tradescantia wurde wegen der vielen Kalkoxalatkrystalle als Versuchspflanze genommen. Der Zellkern, das Protoplasma und die Chlorophyllkörner waren nach einer einmonatlichen Verdunkelung verschwunden, der oxalsaure Kalk wanderte nicht zurück, sondern blieb unverändert in den Zellen.

Versuch mit Abies excelsa, Abies pectinata und Juniperus communis.

Sowohl die Abietineen als auch die Cupressineen sind gegen Verdunkelung widerstandsfähiger als die bis jetzt aufgeführten Pflanzen. Es beweisen dieses schon die immergrünen Bäume während des Winters. Sie sind dann von einer Schneedecke umgeben, und viele cultivirte Coniferen werden Winters mit undurchsichtigem Material bedeckt, aber im Frühjahr erscheinen sie fast ebenso schön grün als im Herbst. Meine Verdunkelungsversuche ergaben dasselbe Resultat. Teile dieser Pflanzen waren während sechs Monaten verdunkelt und zeigten nach dieser Zeit nur einen wenig helleren Farbenton. Die Anordnung des Zellinhaltes war in den verdunkelten Teilen genau dieselbe wie in den an denselben Pflanzen belichteten Teilen. Die während der Verdunkelung etiolirt wachsenden Sprosse von *Juniperus* hatten natürlich eine weissgelbe Farbe angenommen.

Versuch mit Aspidium filix mas.

Bei diesen Farn zeigten sich dieselben Entleerungserscheinungen. Der Zellkern, das Protoplasma und das

Chlorophyll lösten sich nach der Verdunkelung allmählich auf. Fast ausnahmslos geschah dieses innerhalb eines Monats. Manchmal ging die Entleerung der einzelnen Fiederblättchen so rapid vor sich, dass die äussersten Spitzen durch vorgelagerte entleerte Teile gar nicht zur Entleerung kamen. In allen Fällen blieben in den Zellen kleine, stark lichtbrechende Klümpchen übrig. Die entleerten Blätter wurden zuerst gelb, dann braun, in ähnlicher Weise wie bei der herbstlichen Entleerung.

Versuch mit Equisetum hienale.

Bei dieser Pflanze zeigte die Entleerung eine grosse Regelmässigkeit. Nach zwanzigtägiger Verdunkelung war das obere Internodium bereits völlig gelb, das zweite hatte noch einen grünen Schein, das dritte und die folgenden waren intensiv grün. In den Zellen dieser grünen Internodien lag deutlich sichtbar und scharf gerändert der Zellkern mit darin eingebettetem *Nucleolus*. Das Protoplasma war weich und dickflüssig; die Chlorophyllkörner hatten eine Grösse von 3 bis 3,5 Tausendstel Mikromillimeter. Sie bedeckten die ganzen Zellwände und fast immer den Zellkern. Die Zellen des zweiten Internodiums zeigten bereits ein anderes Aussehen. Die Chlorophyllkörner massen hier nur noch 1 bis 1,2 Tausendstel Mikromillimeter. Sie waren gelb und lagen zerstreut umher. Der Zellkern hatte keinen *Nucleolus* mehr und war fast im Protoplasma aufgelöst. Letzteres war ganz dünnflüssig. Im oberen Internodium konnte ich keine differenzirte Chlorophyllkörner mehr wahrnehmen, vielmehr waren nur zusammengeballte, stark lichtbrechende gelbe Körnchen vorhanden. Der Zellkern und das Protoplasma konnte nicht mehr erkannt werden.

Chemisches Verhalten.

Dass mit den organischen Substanzen auch gleichzeitig die wertvollsten Mineralbestandteile der Blätter, besonders das Kali und jedenfalls auch die Phosphorsäure während der Verdunkelung in die nicht verdunkelten Pflanzenteile auswandern, beweisen die Aschenanalysen assimilirender grüner Blätter, verglichen mit denen der einige Zeit verdunkelten.

Es wurden die Kalk- und Kalibestimmungen der Blätter von *Phaseolus multiflorus* und *Helianthus annuus* vorgenommen und dabei folgender Gang innegehalten.

Die assimilirenden als auch die verdunkelten Blätter wurden sorgfältig gereinigt und nachdem sie gemessen waren, zerschnitten und in einem Porzellantiegel bei 100° etwa acht Tage lang getrocknet, bis sich ein konstantes Gewicht ergab. Dieses Gewicht wurde als Trockengewicht festgestellt. Sodann veraschte ich diese Trockensubstanz. Um hierbei die Verflüchtigung der Kalisalze möglichst zu verhüten, wurde der offene Tiegel mit einer kleinen Flamme circa 35 Stunden erhitzt. Die Rohasche wurde gewogen, dann in einigen Tropfen Chlorwasserstoffsäure gelöst und nun mit Wasser längere Zeit gekocht; die Wassermenge belief sich dabei auf ungefähr ein Liter. Der wässerige Auszug wurde auf dem Wasserbade bis auf ungefähr 100 Gramm eingedampft, hierauf filtrirt, der Rückstand getrocknet und gewogen, um so die in Chlorwasserstoffsäure löslichen Salze quantitativ zu bestimmen. Der Auszug wurde nunmehr mit Ammoniak vorsichtig neutralisirt und das Calcium mit oxalsaurem Ammoniak als oxalsaures Calcium heiss gefällt. Nachdem sich der gebildete Niederschlag während 24 Stunden ordentlich abgesetzt hatte, wurde er abfiltrirt, im Luftbade getrocknet und im Platintiegel im Gebläse in kohlensaures Calcium und schliesslich in Calciumoxyd übergeführt und als solches gewogen.

Das Calciumoxyd wurde dann als Calcium verrechnet. Das Filtrat dampfte ich hierauf unter Zusatz einiger Tropfen Chlorwasserstoffsäure zur Trockne ein und entfernte das Ammoniumchlorid durch schwaches Glühen in einer Platinschale. Die nun restirenden Chloralkalien wurden in Wasser gelöst und die Lösung mit einem Überschuss von Platinchlorid abgedampft. Schliesslich wurde der Rückstand Kalium- und Natriumplatinchlorid mit einem Gemisch von Äther und Alkohol gewaschen, auf ein getrocknetes und gewogenes Filter gespült, und das zurückbleibende Kaliumplatinchlorid nach völligem Auswaschen getrocknet und gewogen. Aus der Menge des Kaliumplatinchlorids wurde das Kalium als solches berechnet.

Die Resultate dieser Analysen sind in den folgenden Tabellen, in welchen die Zahlen Milligramme bedeuten, aufgeführt.

Analyse von 40 assimilirenden Blättern von Phaseolus multiflorus.

Gewogene resp. berechnete Substanz.	
Trockengewicht	7376
Rohasche	1228,3
In Chlorwasserstoffsäure unlösliche Salze	394,3
In derselben lösliche Salze	834
Calciumoxyd	373,3
Calcium	266,6
Kaliumplatinchlorid	705
Kalium	136

Nach der Aschenanalyse procentisch berechnet, ergiebt sich

für Calcium 31,9 %,
für Kalium 16,3 %.

Analyse der 21 Tage verdunkelten 40 Blätter von Phaseolus multiflorus.

Dieselben sind correspondirende der assimilirenden Blätter.

Gewogene resp. berechnete Substanz.	
Trockengewicht	5468,1
Rohasche	933,8
In Chlorwasserstoffsäure unlösliche Salze	317,6
In derselben lösliche Salze	676,2
Calciumoxyd	358,3
Calcium	255,9
Kaliumplatinchlorid	341,6
Kalium	89,2

Nach der Aschenanalyse procentisch berechnet, ergiebt sich

für Calcium 37,8 %,
für Kalium 13 %.

Von *Helianthus annuus* wurden zwei Analysen gemacht, und zwar die eine von einer Topfkultur, die zweite die einer Gartenkultur.

Analyse der assimilirenden Blätter.

Gewogene resp. berechnete Substanz.	1320 Quadratcentimeter einer Topfkultur.	380 Quadratcentimeter einer Gartenkultur.
Trockengewicht	1063,9	775,7
Rohasche	236,2	221,2
In Chlorwasserstoffsäure unlösliche Salze	26,5	38
In derselben lösliche Salze	209,7	183,2
Calciumoxyd	50	53,1
Calcium	29,6	38
Kaliumplatinchlorid	540	262,5
Kalium	104	50,6

Für die Topfkultur ergiebt sich nach der Aschenanalyse procentisch berechnet

für Calcium 14,1 %,
für Kalium 49,1 %.

Für die Gartenkultur

für Calcium 20,8 %,
für Kalium 27,6 %.

Analyse der verdunkelten Blätter.

Gewogene resp. berechnete Substanz.	1320 Quadratcentimeter einer Topfkultur 20 Tage verdunkelt.	380 Quadratcentimeter einer Gartenkultur 27 Tage verdunkelt.
Trockengewicht	1165,3	1491,4
Rohasche	313,8	335,5
In Chlorwasserstoffsäure unlösliche Salze	27,3	75,4
In derselben lösliche Salze . . .	286,5	260,1
Calciumoxyd	116,8	88,4
Calcium	68,9	63,2
Kaliumplatinchlorid	545	293,9
Kalium	105	56,9

Für die Topfkultur ergiebt sich nach der Aschenanalyse procentisch berechnet

für Calcium 24 %,
für Kalium 37,1 %.

Für die Gartenkultur

für Calcium 24,3 %,
für Kalium 21,8 %.

Aus den Zahlen dieser Analysen geht hervor, dass der Calciumgehalt, nach den Salzen procentisch berechnet, eine Zunahme in den verdunkelten Blättern erfahren hat. Da dieses in Wirklichkeit nicht möglich ist und auch bei

der analogen herbstlichen Entleerung bis jetzt nicht konstatirt worden ist, so kann dieses Plus wohl der Abnahme der übrigen mineralischen Bestandteile zugeschrieben werden. Aus den Analysen geht jedoch deutlich hervor, dass nach jeder Verdunkelung eine Abnahme von Kalium stattgefunden hatte. Dieselbe betrug für *Phascolus multiflorus* 3,3 %, für *Helianthus annuus* 12 % in der Topfkultur und 5,8 % in der Gartenkultur. Der hohe Kaligehalt in der Topfkultur rührte wohl aus dem kalireichen Boden, und die grosse Abnahme nach der Verdunkelung liefert gleichzeitig den Beweis, dass die Pflanzen möglichst viel wertvolle Stoffe, also namentlich Kali, den verdunkelten Blättern entziehen, während Calcium nicht resorbirt wird.

Chlorophyllbestimmungen.

Dass ein so wertvolles, für das Pflanzenleben massgebendes Gebilde, wie die Chlorophyllsubstanz, durch die Verdunkelung nicht ohne weiteres zerstört und chemisch zersetzt wird, dass es vielmehr, wenn auch unter chemischer Umwandlung, in die belichteten Pflanzenteile übergeführt wird, ist schon früher erwähnt worden. Diese Überführung ist nicht immer von gleichmässiger Dauer, sondern richtet sich nach der Widerstandsfähigkeit der Zellen gegen Verdunkelung. Sind diese nur kurz am Leben, so wandert die Chlorophyllsubstanz sehr bald aus, wenn sie aber lange im Dunkeln weiter existiren, bleibt auch das Chlorophyll längere Zeit in ihnen erhalten. Es lag mir daran, diese Chlorophyllmengen quantitativ zu bestimmen, und benutzte ich den oben unter „Methodisches" beschriebenen Apparat dazu.

Bei *Phascolus multiflorus* betrug der Chlorophyllgehalt in den assimilirenden Blättern 383 Milligramm auf den Quadratmeter berechnet. Der procentische Gehalt der aschenfreien Trockensubstanz derselben Blätter betrug 1,1.

Diese Bestimmung ist nach Tschirchs Angaben „Über Chlorophyll“ [1]) gemacht.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Chlorophyllbestimmungen von *Phaseolus* aufgeführt, die dabei angegebene Zeit bezeichnet die Verdunkelungsdauer.

	Milligramme.	1 Quadratmeter Blattfläche.
1) 4. Tag	299	
2) 6. „	252	
3) 9. „	175	
4) 10. „	18	die Spitze eines Blattes,
5) 10. „	15	die linke Seite desselben Blattes,
6) 10. „	8,4	die rechte Seite desselben Blattes,
7) 12. „	7,7	die linke Seite,
8) 12. „	7,3	die rechte Seite.
9) 14. „	1,7	
10) 15. „	—	

Hieraus ist ersichtlich, dass die Entleerung bei *Phaseolus* eine sehr unregelmässige ist. Drei Stücke von ein und demselben Blatte zeigten einen wesentlichen Unterschied in der Chlorophyllmenge. Dieselbe war aber auch schon äusserlich sichtbar. Während bei No. 4 bis 6 die linke Seite noch deutlich grün war, hatte die rechte Seite bereits eine intensiv gelbe Farbe. Weniger deutlich trat diese Erscheinung bei No. 7 und 8 auf.

Die weitern Bestimmungen stelle ich in der folgenden Tabelle auf.

[1]) Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft 1887, Band V, Heft 3.

	Die Tage bedeuten die Verdunkelungszeit.	Milligramme auf ein Quadratmeter Blattfläche.
Plectogyne	Assimilirendes Blatt	623
„	40 Tage	— völlig gelb
„	75 Tage	607 intensiv grün
Pelargonium	Assimilirendes Blatt	449
„	6 Tage	279
„	8 Tage	159
Oleander	Assimilirendes Blatt	440
„	30 Tage	222
„	60 Tage	183
Helianthus	Assimilirendes Blatt	439
„	18 Tage	328
Tradescantia	Assimilirendes Blatt	325
„	24 Tage	25

Einige Blätter sind, wie aus dieser Tabelle ersichtlich ist, gegen Verdunkelung sehr widerstandsfähig. Bei *Plectogyne* ist ein Blatt mit 623 Milligramm Chlorophyll nach 40 Tagen völlig entleert, ein zweites, mit anfänglich demselben Chlorophyllgehalt, nach 70 Tagen fast ebenso wie ein assimilirendes Blatt. Es mag dies wohl mit dem Alterszustand der Blätter zusammenhängen. Die Oleanderblätter zeigten sich gegen Verdunkelung ebenfalls weniger empfindlich. In allen Beobachtungen ist aber auch hierdurch eine allmähliche Entleerung durch Verdunkelung wahrzunehmen.

In welcher Form die Stärke nach Verdunkelung der Blätter auswandert, konnte ich leider nicht beobachten. Als solche war sie in den Blattstielen nicht wahrzunehmen, während Sachs dieselbe bei der herbstlichen Entleerung auf mikrochemischem Wege durch die Gewebe der Blattstiele hindurch in die Sprossachsen hinein deutlich verfolgen konnte. Es ist möglich, dass sie bei der verhält-

nissmässig schnellen Bewegung nicht zu sichtbarer Ausscheidung gelangte.

Erscheinungen bei partieller Verdunkelung der Blätter.

Werden assimilirende grüne Blätter partiell verdunkelt, so zeigen sich ganz ähnliche Erscheinungen wie bei den total verdunkelten Blättern. Aber gerade hierdurch lässt sich beweisen, dass das Verschwinden des Chlorophylls hierbei keine direkte Dunkelheitswirkung ist, sondern mit dem jeweiligen Absterben der Zellen zusammenhängt. Es kommt hierbei speciell auf die Art der partiellen Verdunkelung an, wie der nachfolgende Versuch zeigt.

Versuch mit Phaseolus multiflorus.

Nachfolgende drei Verdunkelungen wurden durch festes Anlegen von schwarzen Papierstreifen an den Blättern von *Phaseolus* vorgenommen.

1) Die obere Hälfte.
2) Das mittlere Drittel.
3) Die untere Hälfte.

Nach der Verdunkelung der oberen Hälfte blieb das Blatt ohne irgend welche Veränderung lange Zeit normal. Als dann etwa zwanzig Tage verflossen waren, wurde dieser Teil etwas heller und der mikroskopische Befund zeigte, dass sowohl der Zellkern als auch die Chlorophyllkörner etwas von ihrer ursprünglichen Grösse verloren hatten. Die Chlorophyllkörner hatten sich, wie dieses in den Palissadenzellen besonders schön zu beobachten war, von der Epidermiswand weggezogen und mehr nach dem Grunde der Zellen begeben. Nach weiteren zehn Tagen zeigte sich dies schon deutlicher, ebenso hatte das Protoplasma seine weiche, teigige Konsistenz eingebüsst und war wesentlich dünnflüssiger geworden. Die im Schwamm-

parenchym zu Anfang beobachtete Stärke ist völlig verschwunden. Am vierzigsten Tage waren sämmtliche Inhaltsstoffe der Zellen ausgewandert und diese fast durchsichtig. Dieser Teil war von dem unteren belichteten scharf abgegrenzt. Der letztere hatte seine normale Farbe und der Zellinhalt war in seiner ursprünglichen Masse vorhanden. So blieb das Blatt bis zum Tode der Pflanze, ohne die geringste Veränderung zu zeigen.

Die Verdunkelung des mittleren Teils des Blattes gab erst nach dreissig Tagen einen sichtbaren helleren Farbenton, der mit allmählich steigender Intensität gegen den fünfzigsten Tag in gelb übergegangen war. Die in diesem Teile liegenden Blattrippen hatten beinahe noch ihre ursprüngliche Farbe. Die Zellen im verdunkelten Blattstück waren bereits merklich leerer. In den nächsten zehn Tagen begann nun aber auch die Entleerung des oberen und unteren nicht verdunkelten Drittels und in einigen Tagen war das Blatt völlig gelb und entleert. Das verdunkelte Stück zeigte sich fast durchsichtig. Die zurückgebliebenen, stark lichtbrechenden Körnchen lagen in diesem Drittel am Grunde der Zellen, während sie in den belichteten Teilen in den Zellen zerstreut lagen.

Die dritte Verdunkelung war die der unteren Hälfte. Nach vierzehn Tagen konnte ich wiederum eine hellere Farbe beobachten. Die Ränder waren schon gelb geworden, der Zellkern und die Chlorophyllkörner wesentlich kleiner. Nach drei Wochen hatten die Zellen fast keine Inhaltsstoffe mehr und begannen abzusterben, nur die Blattrippen und deren Nähe funktionirten noch. Sie waren in der Mitte grün und gingen nach den Seiten ins Gelbe über. Auch hier war die Grenze der Verdunkelung scharf abgezeichnet, der obere Teil noch schön grün bis auf die äusseren seitlichen Stücke. In denselben hatte sich auch die Entleerung vollzogen, weil die dahin führenden Enden der Rippen zu schwach waren, um den unteren Teil

derselben, trotz der Verdunkelung, am Leben zu erhalten. Nach der völligen Entleerung des unteren Teils begann auch die obere Hälfte des Blattes gelb zu werden. Die Chlorophyllkörner wurden kleiner, lagerten sich jedoch nicht am Grunde der Zellen, sondern lagen zerstreut in denselben umher. Nachdem nun auch der obere Teil abgestorben war, wurden die unteren Rippen, die bis dahin noch funktionirt hatten, gelb und dann braun. Hierauf lösten sich die Blätter von der Pflanze los.

Wir sehen also aus diesen Versuchen sehr deutlich, dass die Blattrippen bei Verdunkelung nur dann rasch absterben, wenn ihre Funktion als Leitbahnen erloschen ist, infolge des Todes desjenigen Blattstückes, welches sie zu versorgen haben, dass sie aber selbst unter Grünbleiben ihres benachbarten Gewebes unbegrenzte Zeit im Dunkeln sich am Leben erhalten, wenn sie zu Blattstrecken führen, welche am Lichte befindlich weiter leben. Es zeigt sich also darin sehr deutlich, dass nicht die Verdunkelung an und für sich die Zellen des Blattes tötet, sondern dass ihr Tod erst eine Folge der Funktionslosigkeit ist.

Versuche mit etiolirt gewachsenen Pflanzen.

Da es bekannt ist, dass Blätter im etiolirten Zustande durch Dunkelheit nicht getötet werden, während sie im ergrünten Zustande die Dunkelheit nicht vertragen, so suchte ich zu bestimmen, in welcher Zeit bereits die Einwirkung des Lichtes die etiolirten Blätter in diesen für Dunkelheit empfindlichen Zustand bringt.

Versuch mit Phascolus multiflorus.

Am 6. Mai wurden je drei Samen von *Phaseolus* in einen Topf gepflanzt und in den Dunkelschrank des Instituts gestellt. Im Verlauf der nächsten drei Wochen hatten

sich sehr schöne Pflanzen daraus entwickelt, von denen immer die wenigst gute entfernt wurde, um so möglichst gleichmässige Versuchsobjekte zu besitzen.

Am 27. Mai setzte ich die erste Kultur im Zimmer während zwei Stunden dem zerstreuten Tageslicht aus und brachte sie darauf wieder in den Dunkelschrank zurück. Das eine Exemplar hatte eine Höhe von 58 cm; es war mit den Primordialblättern versehen und hatte ausser diesen ein vollständig entwickeltes Blattpaar und eins im Entstehen Nach der Belichtung blieb die Pflanze noch 16 Tage lebend und hatte dabei eine Höhe von 65 cm erreicht. Fast dieselbe Erscheinung zeigte das zweite Exemplar. Es mass vor der Belichtung 72 cm und kurz vor dem Absterben 84 cm. Die Blattzellen besassen ein feinkörniges, gelbes Protoplasma.

Die zweite Kultur wurde an demselben Tage während vier Stunden dem zerstreuten Tageslicht ausgesetzt. Die Grössen- und Blattverhältnisse waren fast dieselben wie bei der ersten Kultur. Das Protoplasma erschien mir dabei jedoch etwas dickkörniger, zäher und war auch wandständiger geworden.

Die dritte Kultur ward sechs Stunden belichtet. Ihre Höhe betrug 70 resp. 74 cm. Nach dieser Beleuchtung konnte ich schon einen Lichteinfluss konstatiren. Das Protoplasma war wandständig, der kleine Zellkern lag in der Mitte der Zellen und es begann die Differenzirung der Chlorophyllkörner im Protoplasma, die Farbe war dabei noch völlig gelb. Nachdem diese Versuchspflanzen wieder in den Dunkelschrank gebracht waren, blieben sie noch 13 Tage am Leben; sie hatten dabei um 8 resp. 1 cm an Höhe zugenommen. Die Blattbildung zeigte keine Fortschritte, denn das vierte Paar war kaum sichtbar.

Die vierte Kultur war acht Stunden, von morgens 4 Uhr bis mittags 12 Uhr, dem Licht ausgesetzt. Die

Höhe betrug 65 und 68 cm. Die Wirkung des Lichtes zeigte sich wiederum stärker. Die Blattflächen der Primordialblätter, welche zuerst zusammengerollt waren, hatten sich auseinander gebreitet. Ihre Spreite betrug 1,2 cm in der Breite und 1,5 cm in der Länge. Das mikroskopische Bild zeigte deutliche Chlorophyllkörner mit Etiolin gefüllt. Der Zellkern hatte eine ungefähre Grösse von 2,5 Tausendstel Mikromillimeter. In den Dunkelschrank zurückgebracht, blieben die Pflanzen noch 11 Tage lebend. Ihre ursprüngliche Höhe hatte sich um durchschnittlich 5 cm vergrössert.

Die fünfte Kultur wurde einen Tag, nämlich 17 Stunden belichtet, und zwar von mittags 12 Uhr bis zum folgenden Tage 12 Uhr. Die Pflanzen kamen hier vollständig zur Entfaltung, die Blätter wurden gelbgrün. Die Höhe dieser, wie der folgenden Kultur blieb fast dieselbe. Die Spreite der Primordialblätter betrug in der Breite 1,6, in der Länge 1,8 cm. Im Dunkelraum blasste die gelbgrüne Farbe wieder ab, die Pflanzen gingen mit der vorigen Kultur zu gleicher Zeit zu Grunde.

Die sechste Kultur wurde während zwei Tagen mit nächtlicher Unterbrechung belichtet. In derselben kam die grüne Farbe deutlich zum Vorschein. Die früher gelben Chlorophyllkörner waren auf das Mehrfache ihres Volumens gewachsen; sie lagen dichter gedrängt und dunkelgrün in den Zellen. Der Zellkern hatte eine Grösse von 3,5 Tausendstel Mikromillimeter und das Protoplasma war dickflüssiger geworden. Jetzt nahmen auch die Blattstiele und Internodien eine schwache grüne Farbe an. Die Blattspreite der Primordialblätter hatte wiederum etwas zugenommen, ebenso nahm das Längenwachstum zu. Nachdem diese Pflanzen acht Tage in dem Dunkelschrank gestanden hatten, gingen sie zu Grunde.

Eine dreitägig belichtete Kultur hatte tiefgrüne Blätter. Die Blattstiele und Internodien waren ebenfalls grün

und bekamen bereits einen roten Schein. Das zweite Exemplar dieser Kultur war sehr schwach, die Assimilation daher geringer. Während die Mitte dieser Blätter grün erschien, waren die Ränder noch ein wenig gelb. Die Reservenahrungsstoffe waren hier scheinbar völlig verbraucht. Diese Pflanze starb daher bereits nach dreitägiger Wiederverdunkelung, während die andere sie noch um vier Tage überlebte. An der letzteren konnte ich zum ersten Male beobachten, dass das Chlorophyll nicht völlig verbraucht war. Die Primordialblätter blieben nach dem Tode noch grün, wenngleich auch einige Stellen ins Braune übergegangen waren.

Die folgenden Kulturen hatten wenig Bemerkenswertes. Die in den Zellen enthaltenen Chlorophyllkörner waren nach dem Ergrünen noch weiter gewachsen und füllten den ganzen Zellraum aus, sodass vom Zellkern sehr oft nichts zu sehen war. In diesen Chlorophyllkörnern hatte die Stärkebildung nunmehr begonnen. Nachdem die Pflanzen wieder verdunkelt waren, starben sie selbst bald ab, ohne entleert zu werden.

Ein weiterer Versuch war folgender:

Es wurde eine etiolirt gewachsene Phaseoluspflanze belichtet, davon jedoch das eine Primordialblatt durch eine schwarze Papierhülse noch weiter verdunkelt. Sämmtliche belichtete Blätter entfalteten sich, assimilirten und nahmen eine grüne Farbe an. Das verdunkelte Blatt, welches nach neun Tagen abfiel, bestand nur noch aus Zellhäuten und Wasser. Durch das gegenüberliegende Primordialblatt hatte keine Ernährung stattgefunden.

Als Gegenversuch verdunkelte ich nun eine andere etiolirt gewachsene Pflanze so, dass dieselbe mit einer schwarzen Papphülse bedeckt war. Seitlich wurde eine Öffnung angebracht und durch diese ein Primordialblatt gezogen. Um kein Licht zur übrigen Pflanze dringen zu lassen, wurde die Öffnung vorsichtig verklebt. Dieses belichtete

Primordialblatt ergrünte sehr bald, nahm eine tiefgrüne Farbe und bedeutende Grösse an, nämlich 5,3 cm in der Breite und 5,5 cm in der Länge. Nach neuntägiger Verdunkelung löste sich das Schwesterblatt von der Pflanze los. Weiter wurde von Zeit zu Zeit der obere Teil der Pflanze immer hinfälliger und ging nach 48 Tagen zu Grunde. An dessen Stelle entspross aus der Blattachse des abgestorbenen Primordialblattes ein Spross, der bis zu seiner völligen Entwickelung 18 Tage gebrauchte. Er hatte eine Länge von 20 cm und entwickelte drei Paar Blattansätze. Diese Ernährung war offenbar durch das eine assimilirende Primordialblatt geschehen, doch konnte dasselbe auf die Dauer nichts Weiteres leisten, denn der Spross ging endlich zu Grunde. Es entstand in der Achse dieses Blattes ein neuer Spross. Derselbe wurde in 20 Tagen 3 cm lang und hatte ein kaum sichtbares Blattpaar. Aber auch die Unterhaltung dieses neuen Teiles war für das Primordialblatt zu viel, es liess denselben auch zu Grunde gehen. Weitere neue Organe konnten nun nicht mehr gebildet werden. Das assimilirende Blatt, welches nunmehr functionslos geworden war, wurde gelb und starb dann ab, nachdem es 98 Tage belichtet gewesen war und 53 Tage zur Entwickelung der Sprosse gedient hatte. Dass das Chlorophyll des Primordialblattes nicht zurückwanderte, liess sich deutlich erkennen.

Weitere Kulturen dienten dazu, das bei Belichtung etiolirter Pflanzen sich bildende Chlorophyll zu bestimmen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Chlorophyllmengen aufgeführt, mit ihnen die nicht zurückgewanderten in den belichteten und wiederum verdunkelten Pflanzen.

Belichtungsdauer.	Milligramme auf den Quadratmeter berechnet.	
	Belichtet.	Belichtet und nach der Wiederverdunkelung nicht zurückgewandert.
12 Stunden	—	
16 „	28	
24 „	39	
36 „	31	3,9
48 „	51	16,6
64 „	117	90
80 „	180	79,1

Widerstand gegen Verdunkelung bei grünen Pflanzenteilen, die nicht zu den eigentlichen Assimilationsorganen gehören.

Die Versuche, welche ich mit den grünen Blattstielen und Internodien von *Pelargonium* und *Phascolus multiflorus* anstellte, lieferten mir den Beweis, dass diese chlorophyllhaltigen Pflanzenteile beliebig lange bei konstanter Dunkelheit existiren können, solange nur die darüber liegenden Assimilationsorgane am Leben sind.

Versuche mit Blattstielen von Pelargonium.

Zehn Pelargoniumblattstiele, von durchschnittlich 10 cm Länge, wurden am 29. April verdunkelt, während die Pflanzen selbst mit den Blattflächen am Lichte standen. Nach einem Monat wurde der erste Stiel zur Untersuchung entnommen. Mit dem in meiner Abhandlung beschriebenen Diaphanoskop wurde zunächst die Durchleuchtung des Pflanzenteils festgestellt und dabei gefunden, dass sie im ungünstigsten Falle nicht mehr als 10,5 mm beträgt, wenn

Licht vom Querschnitte aus in der Längsrichtung des Stieles eindringen kann. Zur Untersuchung blieb also noch ein fast 8 cm langes, völlig verdunkeltes Stück übrig. Der mikroskopische Befund zeigte keine Veränderung. In den langgestreckten Zellen lagen die Chlorophyllkörner, ungefähr 4,5 Tausendstel Mikromillimeter gross, im wandständigen dickflüssigen Protoplasma lückenhaft zusammen. Der Zellkern war 6 Tausendstel Mikromillimeter gross und befand sich scharf gerändert in der Mitte der Zellen. Dieselben enthielten teilweise etwas Stärke. Am Ende des zweiten Monats war der zweite zur Untersuchung genommene Blattstiel von etwas hellerer Farbe, die Chlorophyllkörner kleiner und nicht mehr so intensiv grün. Sie hatten sich mehr zu Klümpchen zusammengezogen. Der übrige Zellinhalt war unverändert geblieben. Während der Verdunkelung wuchsen die Blattstiele weiter; ein 40 Tage verdunkelter hatte in dieser Zeit um 38 mm an Länge zugenommen. In der zweiten Hälfte des dritten Monats war ein Blattstiel mehr gelb als grün. Die Chlorophyllkörner hatten nur die Hälfte ihrer ursprünglichen Grösse. Sie lagen allein, zu zweien, dreien und noch mehr zerstreut in den Zellen umher. Der Zellkern zeigte sich ein wenig kleiner. Die Stärke hatte nicht abgenommen; sie war in diesem Teile ebenso reichlich vorhanden, als im belichteten. Der letzte Blattstiel war noch nach vier Monaten verdunkelt. Er hatte zwar nur noch kaum erkennbares Chlorophyll, doch war der Zellkern deutlich zu sehen und auch das Protoplasma, wenn ein wenig dünnflüssiger, so aber reichlich vorhanden, der ganze Stiel selbst völlig lebensfrisch. Das assimilirende Blatt war tiefgrün und fast grösser als alle übrigen an der Pflanze.

Chlorophyllbestimmungen der Pelargoniumblattstiele.

Verdunkelungsdauer.	Milligramme auf 10 cm Blattstiel.
Belichtet	0,13
50 Tage	0,004
70 Tage	0,002

Versuche mit Internodien von Pelargonium.

Die Internodien von 5 bis 8 cm Länge wurden mit den Blattstielen zu gleicher Zeit verdunkelt. Die Durchleuchtung in denselben betrug hier nur 6,5 mm. Das Verschwinden des Chlorophylls war in den Internodien fast gar nicht zu beobachten, weil die Körnchen verhältnissmässig klein waren. Erst nach fünf Monaten konnte ich eine gelbe Farbe beobachten; das Chlorophyll war dann ganz minimal. Der Zellkern und das Protoplasma blieben in der ursprünglichen Form vorhanden, ebenso die in den Zellen enthaltene transitorische Stärke. Nach weiteren zwei Monaten konnte ich keine Veränderung an den noch immer lebenskräftigen Internodien wahrnehmen und brach den Versuch ab.

Versuche mit Blattstielen und Internodien von Phaseolus multiflorus.

Bei *Phaseolus* zeigten sich dieselben Verhältnisse wie bei *Pelargonium*. Blattstiele und Internodien gingen erst dann zu Grunde, wenn die darüberliegenden Blätter oder die ganze Pflanze abstarben. Die Durchleuchtung in den Blattstielen betrug 11 mm, die in den Internodien 9,5 mm.

Das Verhalten der chlorophyllhaltigen Früchte und Samen.

Dass Früchte an und für sich ohne Licht reifen können, wissen wir durch Sachs. Er zog eine völlig verdunkelte Kürbisfrucht bis zur normalen Grösse, liess dabei aber die grünen Blätter von hinreichend intensivem Sonnenlicht treffen. Diese waren im Stande, aus hochoxydirten Nährstoffen verbrennliche, organische Substanz zu erzeugen, welche dann durch weitere Veränderungen in den Früchten zu deren Wachstum verwendet wurden. Meine folgenden Untersuchungen können diese Auffassung mit einer gewissen, unten anzuführenden Einschränkung bezüglich der chlorophyllhaltigen Früchte nur bestätigen.

Versuche mit Pisum sativum.

An zwei Topfkulturen der Erbse wurden am 26. Juni sechs Hülsen von nachfolgender Grösse verdunkelt:

1) 5 cm lang, 1,3 cm breit,
2) 3,5 „ „ 1,2 „ „
3) 3 „ „ 1 „ „
4) 1,3 „ „ 0,5 „ „
5) 3,7 „ „ 1 „ „
6) 1,3 „ „ 0,7 „ „

Nur die grösste Frucht hatte kaum sichtbare Samen angesetzt, in den kleineren war nichts davon wahrzunehmen.

Bis zum 27. Juli, also nach einem Monat, hatten sich nur No. 1 und No. 5, also die grössten Früchte entwickelt, die anderen waren zu Grunde gegangen. In Zwischenräumen von acht zu acht Tagen hatte ich die verdunkelten Früchte beobachtet und gefunden, dass sie, ohne Chlorophyll zu bilden, weiter wuchsen. Die mittleren Teile der Hülsen waren infolge dessen völlig weiss ge-

worden und nur deren beide Enden zeigten noch grüne Farbe. Die Hülsen erreichten völlige Reife. Die in ihnen enthaltenen Samen bildeten sich ebenfalls zur Reife aus, waren aber auch völlig weiss. Der in der Verdunkelung erwachsene Samen war jedoch bedeutend kleiner als der im Lichte erwachsene, er zeigte auch eine etwas hellere Farbe, sonst war aber makroskopisch kein Unterschied herauszufinden.

Die vollständig erwachsene, noch ganz grüne, **nicht verdunkelte Hülse** zeigt auf dem Querschnitt im mikroskopischen Präparat in ihrer mittleren Gewebeschicht bedeutende Mengen Chlorophyllkörner. Wenn auch die einzelnen Körnchen nicht messbar waren, so zeigten sie sich doch in einer solch grossen Anzahl, dass die Zellwandungen fast ganz damit bedeckt waren. Ebenso fanden sich in diesen Zellen bedeutende Mengen Stärke.

Die lederartige Testa des ausgewachsenen, aber noch völlig grünen Samens zeigt in der Palissadenschicht bedeutende Mengen Chlorophyllkörner von wiederum so minimaler Grösse, dass die einzelnen Körnchen nicht messbar waren. Auch sie enthielten zahlreiche Stärkekörner, welche oft dichtgedrängt zusammenlagen. Die Cotyledonen des belichteten Samens sind bei ihrer Entstehung tiefgrün. Diese grüne Farbe bleibt, solange der Samen wächst, ohne merkliche Abnahme. Selbst bis in die inneren Gewebeschichten zeigt sich die Chlorophyllbildung, da ja bis zu jenen die Lichtstrahlen hineindringen. Mit der allmählichen Reife verschwindet dann das Chlorophyll und im ganz reifen Zustande haben die Cotyledonen eine weissgelbe Farbe.

Der mikroskopische Befund in der **verdunkelten Frucht** war folgender:

Die ausgewachsene, ganz weisse, doch noch nicht gereifte Samenhülse zeigt auf dem Querschnitt in der mittleren Gewebeschicht keine Spur von Chlorophyll und auch

die bei der belichteten Hülse gefundenen Stärkekörnchen waren in jener nur in verschwindend geringer Menge vorhanden und lagen zerstreut in den Zellen umher. Die letzteren waren normal ausgebildet und auch der übrige Zellinhalt normal, besonders das Protoplasma war reichlich und dickflüssig. Die weisse Testa des noch nicht reifen Samens zeigt in ihrer wohlausgebildeten Palissadenschicht ein reichliches Protoplasma, doch ist hier kein Chlorophyll anzutreffen und nur zeitweise treten Spuren von Stärke auf. Die Cotyledonen haben in diesem Stadium eine gelbweisse Farbe und kein Chlorophyll in ihren Zellen. Mit der weiteren Ausbildung zur Reife ändern sich die Cotyledonen nicht mehr. Zwischen ihnen liegt der wohl ausgebildete Embryo.

Dieser Samen, der also ohne Chlorophyllbildung gereift war, wurde am 25. August zur Keimung gebracht. Es entwickelte sich das Würzelchen und dann die Plumula. Sobald diese die sie umgebende Erde verlassen hatte, wurde sie intensiv grün und hatte in einigen Tagen bereits eine ansehnliche Grösse erreicht. Im weiteren Verlaufe bildeten sich aus diesen Keimlingen kräftige Exemplare, die von den zu gleicher Zeit erwachsenen Pflänzchen aus dem im Lichte gebildeten Samen nicht zu unterscheiden waren.

Versuche mit Phaseolus vulgaris.
(Ilsenburger Varietät.)

Fünf schön und kräftig entwickelte Topfkulturen mit grossen tiefgrünen Blättern wurden zu diesen Versuchen verwendet und Früchte mit der folgenden Länge am 13. Juli verdunkelt:

1) 4,5 cm lang,
2) 5,3 „ „
3) 4,5 „ „
4) 4,5 cm lang,
5) 4,2 „ „
6) 6,5 „ „

7)	2,5 cm lang,	11)	3,8 cm lang,
8)	6 „ „	12)	3,3 „ „
9)	2,6 „ „	13)	3 „ „
10)	4,5 „ „	14)	2,5 „ „

Nur die über 5 cm langen Früchte enthielten ganz kleinen Samen.

Am 28. August war das Wachstum vollendet, die Hülsen und Samen waren völlig ausgereift und die Pflanzen begannen abzusterben. Die Früchte von No. 1 bis 9 hatten sich sehr schön entwickelt, doch waren die von No. 9 bis 14 durch Regen und Wind zerschlagen.

Sie ergaben nachfolgende Grössen und Samenzahl:

No. 1) 7,5 cm lang, mit zwei normalen grossen Samen.
„ 2) 7 „ „ verkrüppelt mit einem verkrüppelten Samen.
„ 3) 7,3 „ „ mit einem sehr grossen Samen.
„ 4) 10,5 „ „ mit drei kleinen Samen.
„ 5) 9,5 „ „ mit zwei normalen und einem vertrockneten Samen.
„ 6) 14 „ „ mit zwei grossen Samen.
„ 7) 7,5 „ „ mit zwei grossen Samen.
„ 8) 10 „ „ mit drei kleinen Samen.
„ 9) 9,5 „ „ mit zwei normalen und einem vertrockneten Samen.

Die im Lichte erwachsenen Früchte gaben in Bezug auf Grösse und Samenzahl ein ähnliches Verhältniss.

Die Früchte zeigten bald nach ihrer Verdunkelung ein völlig anderes Aussehen. Nach der ersten Beobachtung, die nach zehn Tagen vorgenommen wurde, waren die Früchte um ein Bedeutendes gewachsen. Die zu Anfang tiefgrüne Farbe war in eine völlig weisse übergegangen und nur die beiden Enden der Früchte zeigten noch einen grünen Schein. Nach weiteren zehn Tagen der Verdunkelung waren auch diese Enden chlorophylllos, die Hülsen dabei aber dick und fleischig.

Bei der mikroskopischen Besichtigung weisen die verdunkelten Früchte, verglichen mit denen im Lichte erwachsenen, auf dem Querschnitte wieder mehrere Unterschiede auf.

Die Hülse **der im Lichte erwachsenen Früchte** ist tiefgrün und die vielen kleinen Chlorophyllkörner in der mittleren Gewebeschicht füllen die Zellen im Verein mit zahlreichen Stärkekörnern, Protoplasma und den Zellkernen fast ganz aus. Diese Zellinhalte finden sich besonders massig in den völlig ausgewachsenen, aber noch nicht gereiften Früchten. Die hellgrüne Testa des Samens dieser Früchte zeigt in ihren Palissadenzellen ähnliche Inhalte wie die Hülse. Wiederum sind es zahlreiche, ganz kleine Chlorophyllkörnchen, die die Zellwände auskleiden. Dazwischen liegen viele kleine und grosse Stärkekörner in dem teigigen Protoplasma, und bisweilen sind auch Stärkekörnchen in den Chlorophyllkörnern. Die Cotyledonen sind von Anfang ihrer Entwickelung an tiefgrün und auch hier erstreckt sich die Chlorophyllbildung infolge der Durchleuchtung der Pflanzenzellen bis fast ins Innere der Cotyledonen. Bei zunehmender Reife verschwindet das Chlorophyll allmählich und bei der völligen Reife sind sowohl die Testa als auch die Cotyledonen ohne Chlorophyll; die letzteren haben eine gelbe Farbe.

Die fleischige, völlig weisse Hülse der **verdunkelten Früchte** zeigt im ausgewachsenen Zustande, wie auch schon der makroskopische Befund aufweist, in der mittleren Gewebeschicht kein Chlorophyll und nur verschwindende Mengen Stärke liegen im dickflüssigen Protoplasma. Die ganz weisse Testa der Samen dieser Früchte ist ohne Chlorophyll und auch fast ohne Stärke in ihren Palissadenzellen. Doch zeigen sich reichliche Protoplasmamengen. Die von der Testa eingeschlossenen Cotyledonen sind ebenfalls ohne Chlorophyll und daher

ganz weiss. Auch diese Zellen besitzen reichlich Protoplasma.

Die ganz reifen Samen der verdunkelten Früchte wurden, nachdem sie einige Tage in Ruhe gelegen hatten, behufs des Keimungsversuches zur weiteren Kultur in einen Topf gesäet. Schon nach einigen Tagen entwickelten sich die Würzelchen und, sobald die Plumula mit den Cotyledonen von den ersten Lichtstrahlen getroffen wurden, ergrünten beide.

Es tritt also hier, trotzdem kein Chlorophyll in den Cotyledonen während der Reifung gebildet worden war, bei der Keimung im Lichte die Chlorophyllbildung ein. Erst hierbei wurden Chromatophoren sichtbar, die dann auch ergrünten. Nach etwa acht Tagen waren schon ganz stattliche Pflanzen erwachsen, die keine abnormen Erscheinungen zeigten.

Versuche mit Brassica rapa.

Gut entwickelte Schoten von *Brassica rapa* wurden am 20. Juli verdunkelt. Die Pflanzen derselben waren sehr kräftig und hatten zahlreiche grosse Blätter. Die Verdunkelung wurde mit der Reife und dem Absterben der Pflanzen aufgehoben, und es ergab sich an den Schoten folgendes Wachstum:

Am 20. Juli.	Am 15. September.	
1) 6,5 cm lang,	7 cm lang,	kleine, aber normale Samen.
2) 5,5 „ „	7 „ „	kleine, aber normale Samen.
3) 6,3 „ „	6,7 „ „	Same mehrfach verkümmert.
4) 6 „ „	6,7 „ „	viel verkümmerter Samen.
5) 4,5 „ „	7 „ „	kleine, aber ganz normale Samen.
6) 6 „ „	6,2 „ „	ganz verkümmerter Samen.
7) 5 „ „	7 „ „	fast ganz normaler Samen.

	Am 20. Juli.	Am 15. September.	
8)	4,5 cm lang,	6,8 cm lang,	teils verkümmerter Samen.
9)	4,8 „ „	6 „ „	teils sehr verkümmerter Samen.
10)	6,6 „ „	6,7 „ „	fast normale Samen.
11)	5,8 „ „	6 „ „	kleine, aber immer normale Samen.

Während die Schoten beim normalen Wachstum 10 bis 12 cm lang werden, so zeigten sie in der Verdunkelung kein bedeutendes Wachstum. Auch die in der Verdunkelung gebildeten Samen hatten nur die halbe Grösse der bei Belichtung gewachsenen. Sie waren im Gegensatz zu diesen runden mehrfach abgeplattet und hatten anstatt der braunschwarzen, eine rotbraune Farbe.

Es zeigten sich bei den Samen ähnliche Erscheinungen, wie sie bereits bei der Erbse und Bohne erwähnt wurden. Die Cotyledonen, welche hier hauptsächlich in Betracht kommen, sind bei den **belichteten Früchten** von Anfang ihrer Bildung an intensiv grün. Bei zunehmender Reife nehmen sie eine gelbgrüne Farbe an.

Die in der **Verdunkelung** gebildeten Cotyledonen erscheinen völlig weiss und auch bei der Samenreife ist kaum eine wahrnehmbare Veränderung zu bemerken.

Durch diesen Versuch ist also bewiesen, dass die braunschwarze Samenschale von *Brassica* so viel Lichtstrahlen durchlässt, um ein völliges Ergrünen der Cotyledonen zu bewirken. Die Durchleuchtbarkeit der Samenschale lässt sich auch leicht durch das Diaphanoskop nachweisen.

Die in der Verdunkelung erwachsenen Samen keimten schon, nachdem sie drei Tage vorher in die Erde gesäet waren. Sobald die Cotyledonen von den ersten Lichtstrahlen getroffen waren, nahmen sie eine tiefgrüne Farbe an.

Zweiter Versuch mit Brassica rapa.

Der Fruchtstand einer Brassicapflanze wurde am 17. Juli mit 14 Früchten, welche eine Länge von 1,4 bis 7 cm hatten, mit einer schwarzen Papphülse so verdunkelt, dass durch den Deckel derselben eine bequeme Beobachtung von Zeit zu Zeit ermöglicht war. Die Pflanze wurde ins Kalthaus gestellt und hatte dort eine Durchschnittstemperatur von 17 Grad.

Nach ungefähr zwanzigtägiger Verdunkelung konnte ich beobachten, wie die kleinen Früchtchen, ohne ein Wachstum zu zeigen, allmählich dürr wurden und später zu Grunde gingen. Im weiteren Verlaufe zeigten dies auch die grösseren Früchte. Die darin enthaltenen Samen waren völlig verkümmert.

In der Dunkelheit entwickelten sich noch aus fünf befruchteten Blüten Früchte. Dieselben waren in ihrer grössten Länge 1,8, 2,2, 2,3, 4,2 und 4,4 cm lang. Sie waren völlig weiss und die beiden letzten hatten eine bedeutende Dicke. Auch diese gebildeten Früchte konnten die länger andauernde Verdunkelung nicht ertragen und gingen daher am 17. September zu Grunde. Der Samen dieser ganz etiolirt gewachsenen Früchte hatte eine rotbraune Samenschale, derselbe sah aber so verkümmert aus, dass ein Keimungsresultat nicht vorauszusehen war.

Der verdunkelte Stengel war völlig gelb, der unten belichtete dagegen schön grün; ebenso waren die unterhalb der Verdunkelung befindlichen Blätter intensiv grün.

Versuche mit Lupinus luteus.

Am 7. August wurden drei Fruchtstände einer Lupinenkultur im Versuchsgarten verdunkelt. Zwei derselben entwickelten sich in der Verdunkelung sehr schön weiter, der dritte ging bald zu Grunde. Die Länge der einzelnen Früchte war 3 bis 5 cm. Die Samenknospen hatten sich

erst in den grössten Früchten gebildet. Die zuerst tiefgrünen Früchte wurden während der Verdunkelung gelbgrün und schliesslich gelb, die Hülsen waren durchsichtig geworden.

Am 27. September wurde der eine Fruchtstand, an welchem sich eine ausgewachsene und zwei nicht ausgewachsene Früchte befanden, abgeschnitten, um an ihnen die mikroskopischen Verschiedenheiten festzustellen. Der zweite Fruchtstand blieb noch bis zu seiner völligen Reife, am 22. Oktober, an der Pflanze. Die drei daran befindlichen Früchte hatten eine Länge von 8 bis 15 cm und gaben 3, 3 und 5 wohlgebildete Samen.

Die analogen Stadien im Lichte reifender Früchte ergaben Folgendes:

Die **belichtete** Hülse zeigt in ihrer mittleren Gewebeschicht zahlreiche kleine Chlorophyllkörner von tiefgrüner Farbe.

Der belichtete Samen zeigt im ersten Drittel seiner Ausbildung tiefgrüne Cotyledonen und eine gelblichweisse Samenschale. Der Zellkern liegt mit dem deutlich sichtbaren Nucleolus fast immer in der Mitte der Zellen. Die Chlorophyllkörner haben sich teils um den Zellkern herumgruppirt, teils sind sie wandständig. — Das zweite Stadium des in der Ausbildung begriffenen Samens hat schon die eigentümlich marmorirte Testa. Die äusseren Zellen der Cotyledonen sind noch tiefgrün und deren Wände völlig mit Chlorophyllkörnern bedeckt; die inneren Zellen der Cotyledonen lassen ihr Chlorophyll verschwinden. Zwischen den Chlorophyllkörnern beginnt jetzt die Bildung der Aleuronkörner. — Der vollständig ausgewachsene Samen zeigt gelblichweisse Cotyledonen, deren Zellen nun völlig frei von Chlorophyll sind. Von farblosen Chromatophoren lässt sich nichts mehr entdecken.

Die am 27. September abgeschnittenen **verdunkelten**

Früchte zeigen in den verschiedenen Bildungsstadien ganz andere Erscheinungen.

Die sattgelbe, fast durchsichtige Hülse besitzt in ihrer mittleren Gewebeschicht gelbe, kaum noch differenzirte Körnchen, die wahrscheinlich von den Chlorophyllkörnern des früheren Zustandes herrührten. Der Zellkern dieser Zellen ist verhältnissmässig gross und liegt in einem feinkörnigen, teigigen Protoplasma.

Der verdunkelte Samen zeigt im ersten Drittel seiner Ausbildung eine gelbliche Samenschale und gelblichweisse Cotyledonen. Die deutlich sichtbaren Zellen derselben besitzen auf dem Querschnitt, unter dem Mikroskop beobachtet, einen Zellkern, der fast ausnahmslos in der Mitte liegt. Ein Nucleolus ist in demselben nicht sichtbar. An Stelle der im belichteten Samen gefundenen Chlorophyllkörner zeigen sich hier farblose Chromatophoren von 0,9 bis 1,2 Tausendstel Mikromillimeter Grösse. Sie sind stark lichtbrechend und lagern sich um den Zellkern herum.

Das weitere Stadium des verdunkelten Samens ist wiederum ohne Chlorophyll in den Cotyledonenzellen. In denselben beginnt jetzt auch die Bildung der Aleuronkörner. Die Testa ist noch gelblich. — Der ausgewachsene verdunkelte Samen hat nunmehr die marmorirte Testa und ist von dem im Lichte erwachsenen nicht mehr zu unterscheiden.

Die am 22. Oktober geernteten Samen wurden einer kurzen Samenruhe überlassen und dann in einen Topf gesäet. Nach zehn Tagen zeigte sich die Keimung, die Cotyledonen und die Plumula ergrünten sofort bei ihrer Belichtung, trotzdem auch hier die Samen während ihrer Verdunkelung ganz ohne Chlorophyll gebildet waren. Sie wuchsen dann in kurzer Zeit zu ganz stattlichen Pflänzchen heran, an denen abnorme Erscheinungen nicht zu beobachten waren.

Gesammtergebnisse.

Aus den vorstehenden Untersuchungen lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

Nichts deutet darauf hin, dass das Licht bei irgend einer Art von Pflanzenzellen für das Leben an und für sich eine notwendige Bedingung sei. Aber in andauernder Dunkelheit werden gewisse grüne Pflanzenteile functionslos und werden deshalb nach vorheriger Entleerung abgestossen. Die eigentlichen grünen Assimilationsorgane gehen bei konstanter Verdunkelung unter vorheriger Entleerung sämmtlicher Zellen in kürzerer oder längerer Zeit zu Grunde. Diese Entleerung erfolgt je nach Pflanzenarten ungleich schnell; bei den sommergrünen Gewächsen und bei Pflanzen, die an hellen Standorten zu wachsen pflegen, scheint es am schnellsten, bei immergrünen und im Schatten wachsenden Pflanzen viel langsamer einzutreten. So dauerte es z. B. bei Epheu, Plectogyne, Nerium, bei Coniferen ein bis mehrere Monate. Auch die Wasserpflanzen halten es im Dunkeln lange aus.

Die Entleerung betrifft nur die für den weiteren Aufbau der Pflanzen notwendigen Stoffe. Es sind dies die Kohlenhydrate, Eiweissstoffe, das Chlorophyll und von den anorganischen Stoffen hauptsächlich das Kalium.

Dagegen werden die Blattstiele und Internodien, dafern sie nur als Träger der eigentlichen grünen Blätter fungiren, sobald diese am Lichte assimiliren, durch eine längere Verdunkelung nicht, oder doch nur unwesentlich verändert, aber nicht getötet. Wenn auch bei ihnen eine allmähliche Chlorophyllauflösung stattfindet, so bleiben doch die einzelnen Zellen lebenskräftig.

Wir sehen also, dass die Erhaltung des Chlorophylls in der lebenden Zelle nicht direkt eine Wirkung des Lichtes ist, denn dasselbe kann in konstanter Dunkelheit sehr lange sich erhalten, dafern nur die Zelle selbst am Leben

bleibt. Sein rasches Verschwinden bei sehr vielen Blättern bei konstanter Verdunkelung ist also erst eine sekundäre, mit der Entleerung der Zelle zusammenhängende Erscheinung.

Auch Früchte und Samen bilden sich bei konstanter Verdunkelung voll und ganz aus, sobald eine genügende Anzahl assimilirender grüner Blätter vorhanden ist, welche das für den Aufbau dieser Organe notwendige Stärkemehl hervorbringen. Die Samen erreichen unter diesen Umständen normale Keimfähigkeit. Sind nur wenige Blätter vorhanden, so fangen die Früchte sehr bald an zu verdürren und gehen dann zu Grunde. Den Beweis hierfür lieferte der zweite Versuch von *Brassica rapa*. Indessen scheint aus den übrigen Versuchen hervorzugehen, dass Früchte und Samen, welche von Natur Chlorophyll enthalten, im Lichte besser als im Dunkeln sich entwickeln können, was wohl mit der eigenen Assimilationsthätigkeit dieser chlorophyllhaltigen Organe zusammenhängen dürfte.

Die Arbeit wurde auf Veranlassung des Herrn Professors Dr. R. Frank im pflanzenphysiologischen Institut der landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin ausgeführt. Es sei mir an dieser Stelle gestattet, meinem hochverehrten Lehrer Herrn Professor Dr. Frank für die mir bei meinen Untersuchungen in überaus liebenswürdiger Weise zu teil gewordene Unterstützung meinen herzlichsten Dank auszusprechen, ebenso dem Assistenten desselben, Herrn Privatdocent Dr. A. Tschirch.

Berlin, am 4. Februar 1889.

Heinrich Busch.

Tafelerklärung.

Palissadenzellen von *Phaseolus multiflorus.*

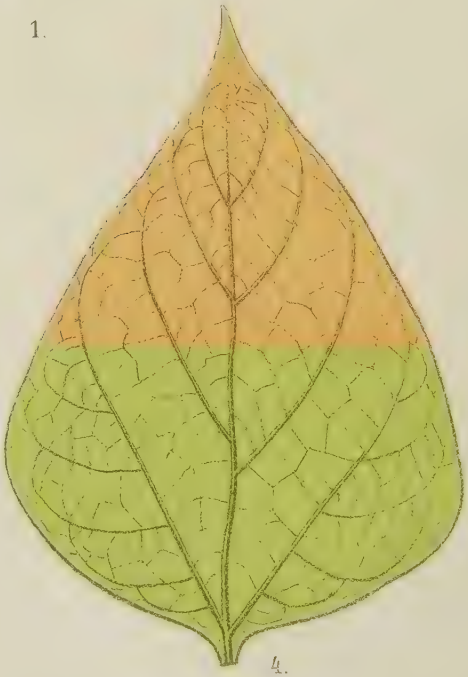
1) Stellung der Chlorophyllkörner im normalen Stadium.
2) Stellung der Chlorophyllkörner nach achttägiger Verdunkelung.
3) In Xanthophyll veränderte Chlorophyllkörner nach vierzehntägiger Verdunkelung.

Partielle Blattverdunkelungen von *Phaseolus multiflorus.*

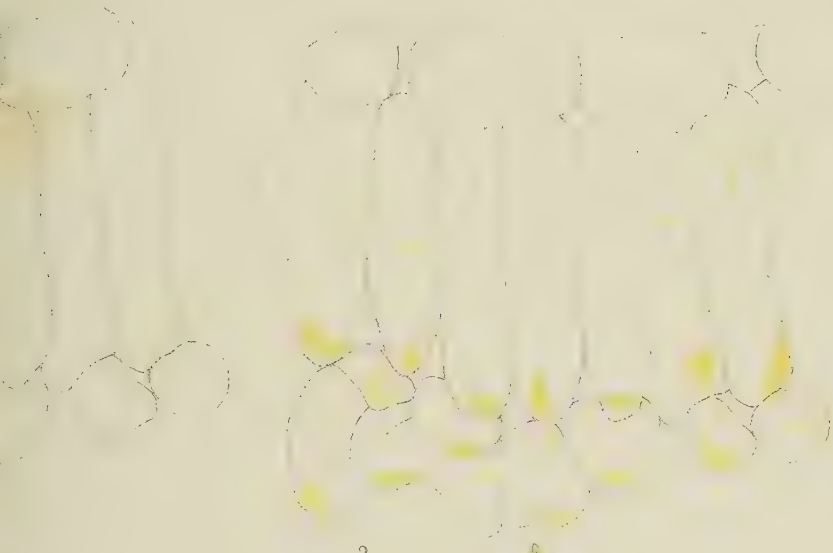
4) Die obere Hälfte verdunkelt nach 35 Tagen.
5) Das mittlere Drittel verdunkelt nach 50 Tagen.
6) Die untere Hälfte verdunkelt nach 21 Tagen.

1.

2.



4.



3.

5.

6.

Anstalt, Leipzig.